

분산형 기준모델 적응 제어기 구성에 관한 연구

장 석 주^o 김 국 헌 양 흥 석
서울대학교 전기공학과

On the study of Decentralized Model Reference Adaptive Controller Design

Seok Joo Chang, Kook Hun Kim, Heung Suk Yang
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

Decentralized model reference adaptive controller is used to control interconnected system. Influences caused by interactions between each subsystem are regarded as unmodeled dynamics or disturbances, thus decentralized adaptive controller is designed using MRAC algorithms which guarantees robustness.

To expand the stability regions of over all system and to improve control performances, higher level controller is introduced to adjust the control factors such as filter band, size of deadzone or maximum norm of parameter.

Local controllers for each subsystem are realized in real time and higher level controller has an ability of detecting the instability phenomena and adjusts the local controller by analysis of power spectrum or square sum of tracking errors.

I. 서 론

사회가 고도사회로 접어들게 되면서 제어 대상이 되는 시스템의 규모가 거대화해지고 또한 복잡화 되는 양상을 보임에 따라 종래의 집중적인 제어방식으로는 해결 곤란한 문제가 늘어나게 되었다. 즉 하나의 집중적인 제어장치로는 교환할 수 있는 정보량에 한계가 있고, 연산량이 제한되는 경우가 생기게 되어 이에 호곡적으로 대응할 수 있는 이론이 필요하게 되었다. 이에 따라 등장한 것이 대규모 시스템이론(Large Scale System)이다[1].

대규모 시스템이 의미하는 바는 네포하고 있는 상태변

수가 많다는 의미도 되겠지만 본 논문에서는 집중적으로 다룰 수 없는 여러 개의 부시스템(subsystem)으로 이루어진 시스템이라는 의미에 주안점을 두었다. 대규모 시스템 제어방식으로는 계층제어방식과 분산제어방식으로 나눌 수 있는데 계층제어방식은 상위제어기와 하부제어기가 필요로 하는 정보를 교환함으로써 각각의 부시스템을 제어하는 방식이다. 분산제어방식은 각각의 부시스템간에 존재하는 상호간섭을 작게 모델링하고 그 부시스템들을 독립적으로 제어하는 방식이다. 그런데 두 방식은 약간의 개념적 차이에도 불구하고 실제 제어기 구성에서 혼용되고 있다. 또한 단위시스템의 제어방식 중에서는 적응제어 방식이 정밀도가 높을 뿐 아니라 이론적으로도 가장 융통성이 큰 방식이다. 아울러 적응제어 방식의 강인성도 계속 밝혀지고 있으므로 상호연관 시스템의 제어에서 강인성이 큰 기준모델 적응 제어방식을 사용하고자 하는 것은 자연스런 흐름이라 하겠다. 그러나 이러한 방향으로의 연구결과는 Ioannou[2]에 의해 발표된 바 이외에는 없으며, 그 결과 또한 상위제어기의 개념은 도입되지 않았다.

본 논문에서는 여러개의 부시스템으로 표현되는 대규모 시스템에 대하여 각각의 부시스템들이 설정된 기준모델을 추종하도록 제어하는 연구를 하였다. 각 부시스템들이 상호간섭이 있더라도 기준모델에 근사하게 추종이 되도록 하기 위하여 강인성이 보강된 제어방식을 채택하였으며, 상호간섭이 아주 큰 경우에도 전체 안정도를 보장하기 위하여 하위제어기를 조정할 수 있는 상위제어기를 갖는 계층적 제어를 시도하였다. 상호간섭은 정상

상태에서 제한된 disturbance나 모형화 되지 않은 운동(Unmodeled dynamics)으로 작용한다고 해석하여, 강인성이 보장된 기준모델 적응제어방식을 각 부시스템제어에 적용하였다. 고려된 제어방식은 사구간을 이용하는 방식 [3], 파라미터 최대치를 제한하는 방식 [4], 보장제어방식 [5] 등이다. 또한 상호간섭이 매우 커져 전체 시스템이 불안정해지는 경우에도 각 부시스템에서 나오는 error를 상위제어기에서 받아들여 power spectrum 또는 square sum을 해석하여, 불안정 영역에 들어갈때 새로운 조치가 가능할 수 있는 판단기준을 마련하였다. 이는 error의 spectrum분포가 시스템이 불안정해질 때 주파수밴드 및 그 크기등이 많이 바뀌는 점을 이용한 것이다.

논문의 구성은 2장에서 각 부시스템제어를 위한 강인성이 보장된 기준모델 적응제어 방식에 관해 약술하고, 3장에서 상위 제어기의 특성 및 판단 기준을 다루었으며, 4장에서 시뮬레이션 결과 및 검토를, 5장에 결론을 실는다.

II. 강인한 기준모델 적응제어 방식

부시스템에 각각 설치되는 분산형 제어기에 사용하기 위하여 상호간섭을 bounded disturbance관점에서는 deadzone을 사용하는 방식 [3], 파라미터 최대치 제한 방식 [4]을 고려하였고, 모형화 되지 않은 운동의 관점에서는 보장제어방식 [5]을 사용한다.

1. Dead-zone의 사용

bounded disturbance가 존재한다고 가정할 경우에 오차가 어느 한계 내이면 적응을 하지 않고 고정된 feedback gain을 사용하는 방식이다. 이 방식에서는 disturbance의 최대치에 대한 사전지식이 필요하고, 알고리즘은 다음과 같다(기본적 알고리즘 생략).

$$\dot{k}(t) = \begin{cases} f(e, u, y) & |e(t)| > \Delta \\ 0 & |e(t)| < \Delta \end{cases}$$

여기서 $k(t)$ 는 적응이득

e 는 출력오차

u, y 는 입력 및 출력

이 경우 외부잡음의 크기가 변화한다면 deadzone의

크기를 변화시킴으로써 정상상태 오차를 줄일 수 있다 [6].

2. 적응파라미터의 최대치 제한 방식

제어대상 및 적응제어계의 파라미터의 상한을 알 수 있으면 잡음등에 의해서 파라미터가 커지는 것을 강제로 막아주는 방식이다. 알고리즘은 다음과 같다.

$$\dot{\theta}(t) = g(e, u, y) - \theta \cdot f(\theta)$$

$$f(\theta) = \begin{cases} (1 - \|\theta\|/\|\theta^*\|_{\max})^2 & \text{if } \|\theta\| \leq \|\theta^*\|_{\max} \\ 0 & \text{if } \|\theta\| > \|\theta^*\|_{\max} \end{cases}$$

g 는 일반적인 적응법칙이라 할 때 θ 의 변화율을 $\|\theta\|$ 가 사전에 결정된 값보다 커지면 적응속도를 늦추는 형태가 된다. 이와는 다른 관점에서 연구되었으나 비슷한 형태로 Γ -modification 방법 [7]이 있다. 잡음 등에 의해서 적응시스템의 안정도가 파괴되는 것을 막는 것으로 적응속도를 늦추준다는 관점에서 유사한 방법이다.

3. 보장제어 방식

Donati [5] 등이 제안한 새로운 모형화 방식을 이용한 것으로 새 모형화 방법을 그림 1에 나타냈다.

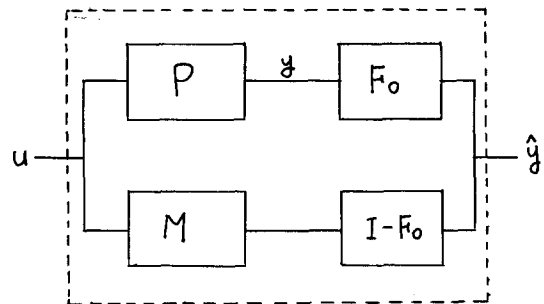


그림 1. 새로운 모형화 방법

제어대상의 전달함수를 P , 형식적 표현을 M 이라 하면

$$P = M(I + \Delta) \dots \dots \dots (1)$$

로 나타낼 수 있고 이때 Δ 는 모형화오차라 한다.

이때 $P^* : u \rightarrow \hat{y}$ 는

$$P^* = PF_0 + M(I - F_0) = M(1 + \Delta F_0) \dots \dots \dots (2)$$

로 나타나며 P 를 P^* 로 모형화하면 모형화 오차는 ΔF_0 가 되고 F_0 를 조절함에 따라 원하는 주파수의 제어대역에서의 모형화오차를 줄일 수 있다. 새로운 모형화 방법을 1,2와 병용하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있다[8].

III. 상위 제어기

상호연관된 각 부시스템에 있어서, 강인성이 보장된 제어기를 설치하였다 하여도 상호연관정도가 매우 커지면 상호연관항이 dominant해져서 stability가 파괴될 수도 있다(그림4). 이를 사전에 방지하기 위한 시도로 부시스템제어기들의 제어요소를 적절히 조절해 주는 기능을 갖는 상위제어기가 도입되었다(그림 2).

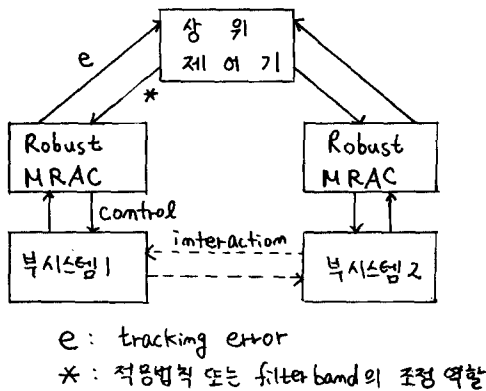


그림 2. 상위 제어기

이때 상위제어기는 각 system에서 발생하는 tracking error에 대해 power spectrum analysis 또는 square sum을 구하여 불안정 영역에 들어가기전에 하위제어기를 조절하여 안정화할 수 있는 기능을 한다. tracking error의 square sum은 적은 연산량으로 알수 있으나 이는 시스템이 불안정해지고 있음을 알수 있을 뿐 다른 정보를 포함하지 않는다. 그러나 tracking error의 power spectrum은 energy 뿐 아니라 주파수 특성도 나타내 주고 있어서 tracking error의 dominant frequency band를 알 수 있고 이에 따라 다양한 대체방법을 강구할 수 있다. 이 방법들은 적응속도에 변화를 주든가 또는 보장제어기법에서 필터의 주파수 band를 조절해 주는 역할을 할 수 있다. 이 방법은 power spectrum을 얼마나 잘

리 구할 수 있는가가 문제인데 FFT를 씌워서 해결할 수 있고, FFT를 매 step마다 적용시킬 필요가 없고 시스템의 특성에 따라 적당한 구간의 데이터마다 파워 스펙트럼을 구하면 된다(시뮬레이션 결과 참조).

또 하나의 문제는 FFT를 사용하는 방식이 전체의 상호연관 시스템을 집중제어방식으로 제어할때와 비교하여 연산량에서 잇점이 있는가의 문제이다. 이점은 부시스템의 수가 많으면 많을수록, 각 부시스템의 차수가 높으면 높을수록 큰 논문의 방식이 유리함을 쉽게 알 수 있다.

IV. Simulation 및 검토

고려된 상호연관된 시스템은

$$\text{Plant 1 : } X_1 = A_1 X_1 + B_1 U_1 + \alpha X_2$$

$$\text{Plant 2 : } X_2 = A_2 X_2 + B_2 U_2 + \beta X_1$$

$$\text{여기서 } X_1 = [X_{11} \ X_{12}]^T$$

$$\alpha = [\alpha_1 \ \alpha_2]^T$$

$$\beta = [\beta_1 \ \beta_2]$$

와 같다. Plant 1의 전달함수 $W_{p1}(s) = 1/s^2 - 1$ 이고, 기준모델은 $W_{m1}(s) = 1/(s^2 - 4s + 3)$ 의 전달함수를 갖는다. Plant 2는 $W_{p2}(s) = 3/(s+3)$, 모델은 $W_{m2}(s) = 1/s+1$ 이다. 상호연관 항 α, β 를 점점 크게 하면서 불안정해지는 현상을 보였다. α, β 가 크지 않은 경우는 그림 3에서 보이듯 별 문제가 없으나 그림 4의 경우 b부분에서 error가 매우 커짐을 확인할 수 있다($\alpha = \beta = 2$ 인 경우) 이때 a, b, c 부분의 power spectrum을 구해 본 결과 불안정영역에 가까울수록 power가 증대함을 알 수 있다. power spectrum을 구하는 데에는 FFT를 사용하였다. power spectrum 해석을 하는 경우에 안정도 파괴 징후를 쉽게 관찰할 수 있는 장점뿐만 아니라 주파수 특성에 관한 정보도 알게 되므로 적응속도에 변화를 준다든가 보장제어기법에서의 filter의 band조절등을 통한 다양한 대처방안이 가능하게 된다.

V. 결론

상호연관된 시스템에 분산형 기준모델 적응 제어기를

적용하였다. 각 부시스템제어기는 강인성이 보장된 MRAC 알고리즘을 사용하였다. 상호간섭을 외란이나 모형화되지 않은 운동으로 고려하였으며, 상호연관이 커짐으로 인해 생길 수 있는 불안정현상은 상위제어기에서의 error signal 해석을 통하여 하위제어기를 조절하여 막을 수 있도록 하였다. error signal을 해석하는데에 Power spectrum을 사용하였고, 이 경우 오차의 spectrum 분석은 안정도 파괴의 징후를 쉽게 상위제어기에서 판단할 수 있었으며 이에 대한 대처방안으로 사구간의 크기를 변화, 파라미터 최대치의 변화 또는 보장 제어 기법상의 필터밴드등의 조절등이 가능하였다.

spectrum 측정에는 FFT를 사용하여 빠른 판단이 가능했으며 안정도 파괴 형태에 따른 스펙트럼 분포의 변화에 대한 정보를 충분히 저장하고 있을때 인공지능의 개념으로 확대사용될 수 있을 것이다.

* 이 논문은 한전 기술연구원의 논문연구장려비 지원을 받았음을 밝혀드립니다.

[8] 김국현의, "적응제어의 강인성 개선에 관한 비교연구", 자동제어 학술회의 논문집, 1986

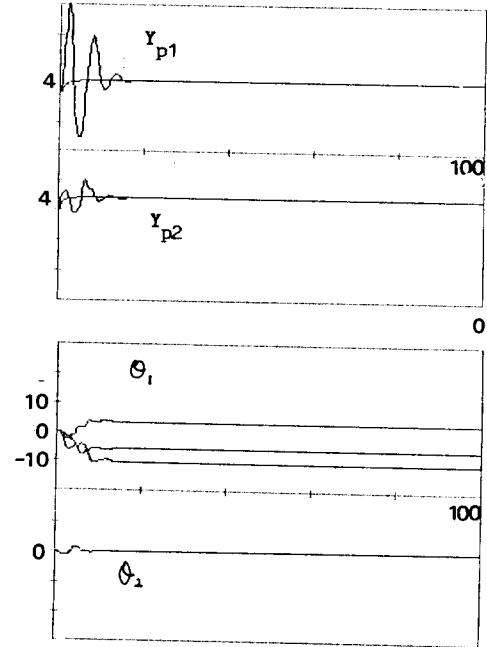
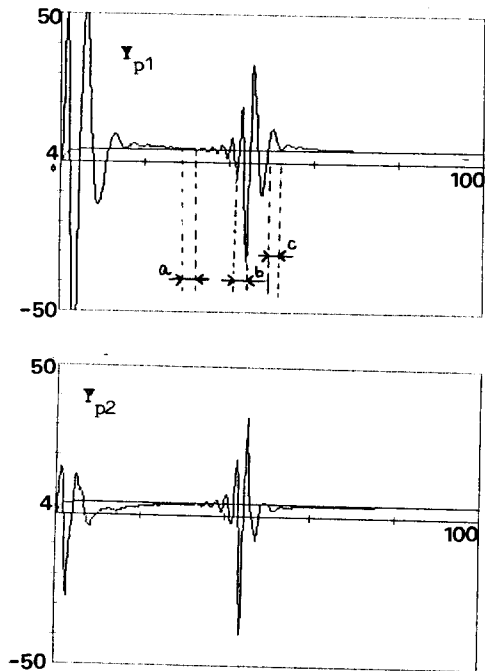


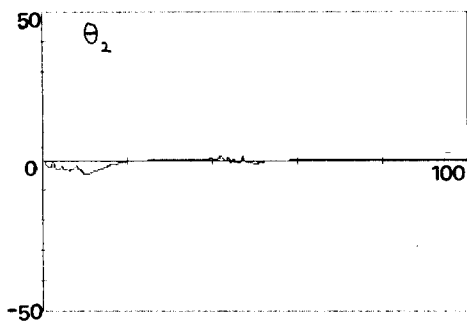
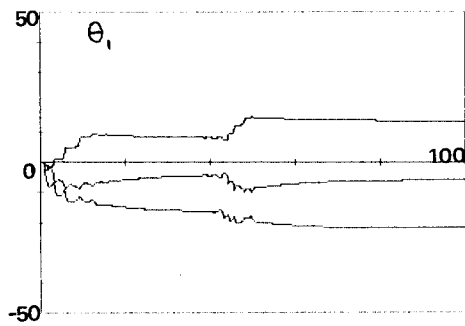
그림 3. 상호연관이 작은 경우의 출력 파라미터
Sampling Interval= 0.005 sec

VI. 참고 문헌

- [1] Magdi S. Mamoud; Large-Scale Control Systems, Marcell Dekker, 1985.
- [2] P.A. Ioannou; "Decentralized Adaptive control of Inter-Connected Systems", IEEE, AC-31, No.4, 1986.
- [3] B. Peterson et al., "Bounded Error Adaptive Control", IEEE, AC-27, pp.1161-1168, 1982
- [4] G. Kreisselmeir et al., "Stable MRAC in the Presence of Bounded Disturbances", IEEE, AC-27, 1169-1175, 1982
- [5] Donati et al., "Guaranteed Control of Almost Linear Plants", IEEE, AC-29, 1984
- [6] 박세웅, "Adaptive Control Using Time Varying Dead-zone", 석사학위논문, 서울대, 1986
- [7] P.A. Ioannou; "Instability Analysis and Improvement of Robustness of Adaptive Control, "IEEE, AC-20, 1984



4.a 출력



4.b 파라미터

그림 4. 상호연관이 큰 경우

Sampling Interval= 0.005 sec

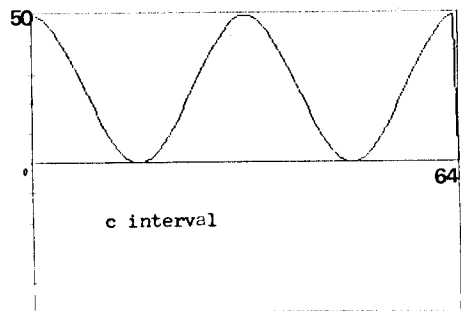


그림 5. 오차의 Power Spectrum.

